

# Evidencias del cambio climático en Maturín, estado Monagas, Venezuela: Precipitación y temperatura

Climatic change evidences at Maturín, Monagas state, Venezuela: Precipitation and temperature

José Alexander GIL MARÍN <sup>1</sup>✉, Beatriz Ibet LOZADA GARCÍA <sup>2</sup>, Nadiezhda LÓPEZ PÉREZ <sup>1</sup>, Luis Alfredo MÁRQUEZ DÍAZ <sup>3</sup> y Marielin del Valle SALAZAR GIL <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente (UDO). Avenida Universidad, *Campus* Los Guaritos, Maturín, 6201, estado Monagas, Venezuela; <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Bramón, estado Táchira, Venezuela y <sup>3</sup>Departamento de Ciencias Básicas. UDO, Maturín. E-mail: jalexgil2005@hotmail.com ✉ Autor para correspondencia

Recibido: 06/09/2012                      Fin de primer arbitraje: 13/09/2013                      Primera revisión recibida: 20/09/2013  
Fin de segundo arbitraje: 08/10/2013                      Segunda revisión recibida: 23/10/2013                      Aceptado: 30/10/2013

## RESUMEN

En los últimos años han sido más notorios los cambios en los patrones climáticos de la ciudad de Maturín; sin embargo, no existen estudios publicados que verifiquen si efectivamente el clima ha cambiado. Esta investigación se centró en efectuar una serie de pruebas estadísticas para detectar señales de cambio climático en los registros de algunas variables del clima de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela; en el período 1951 – 2005 (totalizando 55 años). Se identificó el año aproximado del cambio y su significación, para las series temporales de precipitación, y las temperaturas máximas (T<sub>máx</sub>) y mínimas (T<sub>mín</sub>) proveniente de la estación climatológica de las Fuerzas Aéreas venezolanas, ubicada en Maturín. Para el análisis de tendencia se tomaron en cuenta tres períodos: total anual (enero-diciembre), estación seca (enero-abril) y estación lluviosa (mayo-diciembre). El análisis de tendencia se efectuó por medio de las siguientes pruebas no paramétricas: prueba del coeficiente de Spearman, prueba de Mann-Kendall y prueba de Pettitt, también se realizó un análisis de regresión lineal. Se identificó una tendencia creciente estadísticamente significativa ( $\alpha=0,05$ ) en la T<sub>mín</sub>. La precipitación no presentó tendencia significativa y la T<sub>máx</sub> presentó una tendencia decreciente significativa. Se localizaron cambios bruscos significativos para los periodos: anuales, secos y lluviosos, en la variable T<sub>mín</sub>, mientras que en la T<sub>máx</sub> solo en los periodos anuales y lluviosos presentaron cambios significativos.

**Palabras clave:** Maturín, análisis de tendencia, series temporales, pruebas no paramétricas, modelo probabilístico.

## ABSTRACT

In recent years, there has been a change in climate patterns of the Maturin city, however, there is not any study so far that has been published verifying whether or not the climate has changed due to the effect of global warming. This research focused to make a series of statistical tests to detect climate change signals in the records of some climate variables Maturin city, Monagas state, Venezuela, in the period 1951 - 2005 (55 years in total). The approximate year of change was identified and its significance, for time series of precipitation, maximum (T<sub>max</sub>) and minimum (T<sub>min</sub>) temperatures from the Venezuelan Air Force meteorological station, located in Maturin. For trend analysis three periods were taken into account: annual total (January-December), dry (January-April) and rainy seasons (May-December). Also, the determined probabilistic models that best fitted to variables under study were determined. The trend analysis was performed by means of the following nonparametric tests: Spearman's coefficient, Mann-Kendall and Pettitt test, a linear regression analysis was also performed. A statistically significant increased trend was determined ( $\alpha = 0,05$ ) in T<sub>min</sub>, which indicated climate change. The precipitation did not present significant trend and T<sub>max</sub> showed a decreased significantly trend. The study founded significant abrupt changes in T<sub>min</sub> for annual, dry and rain season. For T<sub>max</sub>, significant changes were presented only in the annual and rain season.

**Key words:** Maturin, trend analysis, time series, nonparametric tests, probabilistic models.

## INTRODUCCIÓN

La historia del planeta muestra la ocurrencia de cambios climáticos, varios de ellos caracterizados por cambios en la dinámica de los océanos, erupciones volcánicas o bien alteraciones de la radiación solar

(Schwartz y Randall, 2003; Alexandrov y Hoogenboom, 2000).

Actualmente, la humanidad se enfrenta a un nuevo escenario de cambio climático donde varios estudios (Carson, 1996; Cao *et al.* 1998) indican que

debido a las grandes emisiones de gases de efecto invernadero como bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); óxido de nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>), la temperatura promedio del planeta se ha incrementado entre 0,3 y 0,7 °C en los últimos 100 años. Dichos estudios también señalan que debido a este calentamiento global y al fenómeno climático el Niño, la ocurrencia de eventos climáticos extraordinarios como sequías, inundaciones, temperaturas extremas altas y bajas han aumentado en las últimas décadas (Lavenroth, 1996; Smith, 1996), afectan a diversos sectores de la economía, y en particular al sector agrícola, debido a su estrecha relación con el clima.

El calentamiento global y el cambio climático, pueden afectar directamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que el incremento de la temperatura y el CO<sub>2</sub> en la atmósfera afectan la tasa fotosintética de los cultivos (Wolf y Van Diepen, 1994). Se reporta que entre 1900 y 2005, la precipitación anual aumentó notablemente en el noroeste de América del Sur. Por otra parte, en los últimos 50 años se observaron cambios en los eventos extremos, como reducción de la frecuencia de ocurrencia de noches y días fríos, y días con helada y escarchas en la mayoría de las áreas terrestres. En contraposición, aumentó la frecuencia de ocurrencia de noches y días cálidos, olas de calor y lluvias intensas. También, en los últimos 35 años se registró un aumento en la frecuencia de ocurrencia de huracanes severos.

Una ocurrencia más frecuente de precipitaciones intensas implica mayor riesgo de inundaciones repentinas y derrumbes, especialmente en áreas muy vulnerables como son las zonas montañosas fuertemente urbanizadas en Venezuela. El incremento de la temperatura es un problema grave que implica un mayor gasto de agua (que será cada vez más escasa) y de energía, así como un riesgo de salud en humanos y animales. Algunos expertos señalan que el futuro más plausible para el país consistirá en un aumento de la temperatura media debido principalmente a un aumento de las temperaturas nocturnas, así como una disminución de la precipitación, acompañada por un incremento de los eventos extremos (Martelo, 2004)

El crecimiento poblacional e industrial en la ciudad de Maturín, ha sido de gran magnitud en los últimos 30 años, debido a la instalación de varias industrias, relacionadas directa e indirectamente con la actividad petrolera. Esto ha causado un incremento en la inmigración de la población hacia esta localidad.

Este incremento en la población requiere de viviendas, vías de comunicación, escuelas y hospitales, dando como resultado un crecimiento urbano acelerado. El proceso de urbanización de una región cambia drásticamente las propiedades de las superficies, ya que la vegetación original es reemplazada por pavimento, concreto, banquetas y otros materiales sintéticos utilizados en las urbanizaciones. Esto ocasiona cambios muy drásticos en la absorción y reflectancia de la radiación solar por los cuerpos de la superficie y en la distribución de los componentes de la ecuación del balance de energía en la superficie, lo cual puede modificar el microclima de la localidad.

Algunos habitantes de Maturín señalan que en los últimos 30 a 40 años ha existido un cambio en los patrones climáticos de la ciudad, indicando que los periodos lluviosos del año son más cortos, mientras que los periodos de sequía son más largos y más calurosos. Sin embargo, a la fecha no existen estudios publicados que verifiquen si efectivamente el clima de Maturín ha cambiado.

El interés por el estudio de la variabilidad climática, el cambio climático y su influencia sobre el régimen de precipitación, temperaturas y otros elementos del clima, se ha incrementado en los últimos años, sin embargo estos estudios se ven afectados debido a los problemas de confiabilidad de los registros climáticos o a la inexistencia de los mismos, por estas razones es importante disponer de series temporales homogéneas y que las inhomogeneidades sean detectadas con pruebas estadísticas que permitan corregir esas desigualdades en las series temporales (Lozada y Barboza, 2007).

Con base en los antecedentes antes mencionados, los objetivos de este trabajo se centraron en efectuar una serie de pruebas estadísticas para detectar señales de cambio climático en los registros de temperaturas (máxima y mínima) y precipitación de la ciudad de Maturín, para el periodo 1951 – 2005, en términos de cambio en la media, en la varianza y existencia de tendencias lineales en los registros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Maturín, municipio Maturín, estado Monagas, situado geográficamente a 9°46'46" de latitud norte y

63°11'05" longitud oeste y a una altitud de 63,5 m.s.n.m (Figura 1). Gil *et al.* (2000) señalan que el clima de la zona es del tipo Bosque seco tropical, caracterizado por presentar una estación lluviosa de mayo a diciembre y una estación seca de enero hasta abril, con una precipitación media anual de 1219,6 mm, una temperatura media anual de 25,9 °C, una evapotranspiración potencial de 1372 mm y una evaporación de 1573 mm.

**Recolección de datos y variables bajo estudio**

Las series de datos de precipitación, temperatura máxima, y mínima, provienen de lecturas diarias realizadas en la estación meteorológica de las Fuerzas Aéreas de la República Bolivariana de Venezuela (FAV), ubicada en las adyacencias del Aeropuerto de Maturín, estado Monagas. El periodo considerado va desde enero de 1951 hasta diciembre del 2005, totalizando 55 años.

**Análisis de tendencia de las variables climáticas**

Las variables climáticas fueron analizadas por separado considerando tres ciclos o periodos: un periodo anual completo (de enero a diciembre), un periodo seco (enero-abril) y un periodo lluvioso (mayo-diciembre).

El análisis de la tendencia se efectuó a través de las siguientes pruebas no paramétricas: prueba del coeficiente de Spearman, prueba de Mann-Kendall y la prueba de Pettitt. También, se realizó un análisis de regresión lineal para identificar alteraciones en las series por medio de la significación del coeficiente angular ( $\alpha$ ) de la ecuación:

$$Y = b + \alpha X \dots\dots\dots (1)$$



Figura 1. Ubicación geográfica de la Estación Meteorológica de la Fuerza Aérea Venezolana.

Donde

Y es la estimación de la variable climática

b punto de corte de la recta de regresión lineal

$\alpha$  pendiente de la recta o coeficiente angular

X periodo de tiempo en años

La prueba es estadísticamente significativa si en el intervalo de confianza con un 95% de probabilidad, el coeficiente angular ( $\alpha$ ) no incluye el valor cero. La regresión lineal se obtuvo al someter los datos a un análisis de regresión con el programa SPSS.

La prueba del coeficiente de Spearman ( $r_s$ ), según Sneyers, (1990), determina si hay o no tendencia significativa en una serie temporal. El estadístico de la prueba es:

$$r_s = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum (y_i - i)^2 \dots\dots\dots (2)$$

La distribución nula del estadístico es asintóticamente normal con esperanza (E) y varianza (var), respectivamente:

$$E(r_s) = 0 \text{ y } \text{var}(r_s) = \frac{1}{n - 1} \dots\dots\dots (3)$$

El estadístico reducido ( $\mu(r_s)$ ) sigue la distribución normal estándar:

$$\mu(r_s) = r_s \sqrt{n-1} \dots\dots\dots (4)$$

y la probabilidad, determinada de la N (0,1) es:

$$\alpha_1 = P|\mu| > |\mu(r_s)| \dots\dots\dots (5)$$

La hipótesis nula de no tendencia es rechazada al nivel de significación  $\alpha_0$  ( $\alpha_0= 0,05$ ) si  $\alpha_1 < \alpha_0$ . La tendencia es creciente si  $r_s > 0$ , y es decreciente si  $r_s < 0$ .

La prueba de Mann- Kendall, según Sneyers (1990), también determina si hay o no tendencia en una serie temporal. Sea  $y_i$  el rango de las observaciones ordenadas de menor a mayor. Para cada elemento  $y_i$  se cuenta el numero ( $n_i$ ) de los

elementos  $y_j$  que lo preceden ( $i > j$ ), tal que  $y_i > y_j$ . El estadístico de la prueba es:

$$t_n = \sum_{i=1}^n n_i \dots\dots\dots (6)$$

La esperanza y la varianza de la distribución nula del estadístico son:

$$E(t_n) = \frac{n(n-1)}{4} \dots\dots\dots (7)$$

y

$$\text{Var}(t_n) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \dots\dots\dots (8)$$

y la prueba se reduce a:

$$\mu(t_n) = \frac{[t_n - E(t)]}{\sqrt{\text{var}(t)}} \dots\dots\dots (9)$$

El estadístico sigue la distribución normal estándar. La probabilidad, determinada de la  $N(0,1)$  es:

$$\alpha_1 = P(|\mu| > |\mu(t_n)|) \dots\dots\dots (10)$$

La hipótesis nula de no tendencia es rechazada al nivel de significación  $\alpha_0$  ( $\alpha_0 = 0.05$ ), si  $\alpha_1 < \alpha_0$ . Cuando  $\mu(t_n)$  es significativo, se puede observar una tendencia creciente ( $\mu(t_n) > 0$ ) o decreciente ( $\mu(t_n) < 0$ ) de la serie.

El análisis progresivo de la serie por medio del estadístico  $\mu(t_n)$ , localiza el inicio del fenómeno. Para ello, se calcula sustituyendo  $n = i$  en las fórmulas (6), (7), (8) y (9). Igualmente se determina para la serie inversa. Las series  $\mu(t_n)'$  y  $\mu(t_n)$  son graficadas y en el caso de una tendencia significativa, la intersección de las curvas localiza aproximadamente el inicio del fenómeno.

La prueba de Pettitt según Lozada y Barboza (2007) determina si hay un punto de cambio significativo en la serie. Esta prueba emplea una versión de la prueba de dos muestras de Mann-Whitney. Para datos continuos esta propone el estadístico:

$$t = 2 - T \dots\dots\dots (11)$$

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_t - X_j) \dots\dots\dots (12)$$

Donde:  $\text{sgn}(x) = 1$  si  $x > 0$ ,  $\text{sgn}(x) = 0$  si  $x = 0$ ,  $\text{sgn}(x) = -1$  si  $x < 0$ .

Se calcula  $k(t)$  para  $1 \leq t \leq T$ . El estadístico de la prueba es:

$$K(t) = \text{MAX}_{[1 \leq t \leq T]} |U_{t,T}| \dots\dots\dots (13)$$

El valor-P es calculado aproximadamente por:

$$\text{valor - P} \cong 2 \left\{ \frac{-6(k(t))^2}{(T^3 + T^2)} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

Según Back (2001), los valores críticos de  $K$  pueden ser calculados por la ecuación:

$$K_{\text{crítico}} = \pm \sqrt{\frac{-\ln(p/2)(T^3 + T^2)}{6}} \dots\dots\dots (15)$$

La prueba de Pettitt señala un cambio brusco cuando el valor máximo ( $K_{(t)}$ ) es significativo al nivel crítico de la prueba ( $\alpha_0 = 0,05$ ).

La significación en estas pruebas se determinó al comparar el valor de los estadísticos de las pruebas con el obtenido de la Tabla de valores de  $t$  con  $\alpha = 0,05$  y  $n-2$  grados de libertad (53 grados de libertad), en este caso el valor determinado fue 2,007.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tendencias de las precipitaciones

En el Cuadro 1 se observan los resultados de las pruebas no paramétricas de regresión lineal, del coeficiente de Spearman y la de Mann-Kendall para la precipitación anual, periodo seco y periodo lluvioso de la estación meteorológica de las Fuerzas Aéreas de la República Bolivariana de Venezuela (FAV), ubicada en la ciudad de Maturín, para la serie 1951 – 2005.

El análisis de regresión mostró una tendencia decreciente en el periodo seco, en un orden de aproximadamente 0,275 mm/anales (Figura 3a) y creciente en los periodos anual y lluvioso con valores aproximados de 1,134 mm/anales y 1,407 mm/anales, respectivamente (Figuras 2a y 4a); sin embargo, estos decrementos o incrementos no son estadísticamente significativos.

Las pruebas de Spearman y Mann-Kendall a pesar de no ser significativas corroboran que existe tendencia en las series de precipitación, indicando que existe una tendencia decreciente para el periodo seco y una tendencia creciente para los periodos anual y lluvioso (Cuadro 1). Cuando los estadísticos son positivos la tendencia se considera creciente y si son negativos la tendencia es decreciente.

La prueba secuencial de Mann-Kendall (Sneyers, 1990), mostró una tendencia creciente en las series de precipitación anual y periodo húmedo, (Figuras 2b y 4b) y una tendencia decreciente para el periodo seco (Figura 3b).

La Prueba de Pettitt, indica un cambio brusco en el año 1979 para las precipitaciones anuales (Figura 2c) y por la prueba de Mann-Kendall el cambio comenzó en el año 1977 (Figura 2b). Sin embargo, ninguna de estas dos pruebas resultaron ser significativas.

Para el periodo lluvioso, la Prueba de Pettitt señala el cambio brusco en el año 1978 y por la Prueba de Mann-Kendall el cambio comenzó en el año 1971 (Figuras 4b y 4c), de igual forma estas pruebas no resultaron significativas para este periodo. En cuanto al periodo seco, la Prueba de Pettitt al igual que en los demás periodos, resultó no significativa, en este caso no señala en forma clara un punto de cambio brusco y según la Prueba de Mann-Kendall la tendencia es decreciente en los periodos 1971-1980, 1982-1989 (Figuras 3b y 3c).

Estos resultados aunque no son significativos, muestran que por lo menos en esta localidad la tendencia de la precipitación pluvial no es de disminuir como lo señala Martelo (2004), en su proyección para el año 2040.

En las Figuras 2, 3 y 4 se observaron leves tendencias no significativas, en periodos muy cortos,

lo que indica que es una tendencia aleatoria y no determinística (Lozada y Barboza, 2007). Es decir, las series de precipitación pueden estar influenciadas por la variabilidad propia del elemento y de otros eventos climáticos.

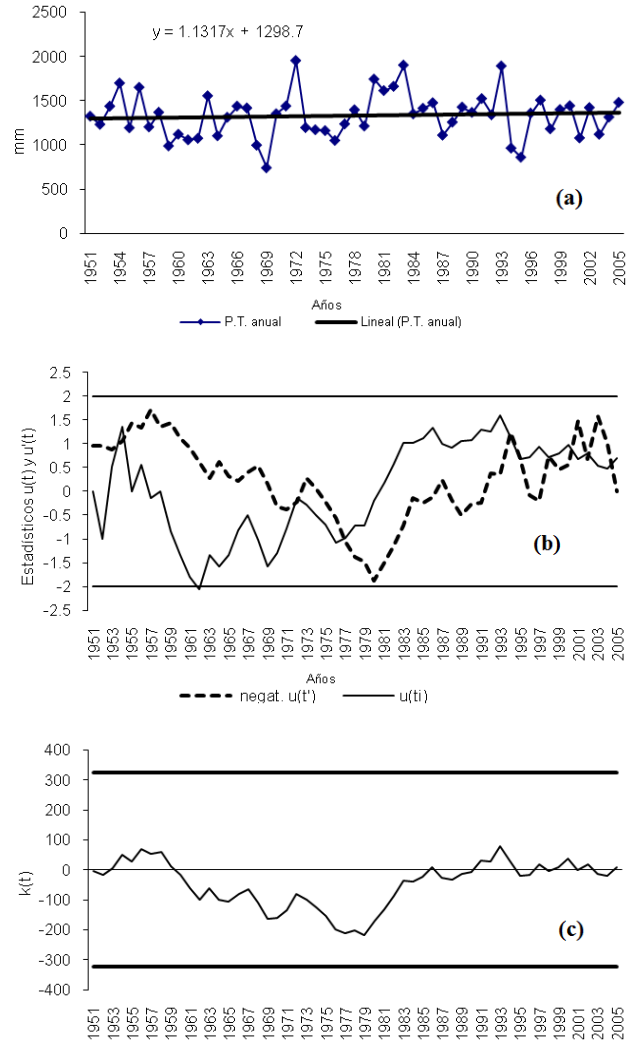


Figura 2. Precipitación Total Anual. (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%.

Cuadro 1. Coeficiente angular de la regresión ( $\alpha$ ) y su intervalo de confianza y estadísticos coeficiente de Spearman ( $\mu(rs)$ ) y coeficiente Mann-Kendall ( $\mu(tn)$ ) para la precipitación total anual, periodo seco y lluvioso de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela.

Época	Regresión ( $\alpha$ )	Intervalo de confianza	Coeficiente de Spearman	Coeficiente de Mann-Kendall
Periodo seco	-0,275	[-1,94; 1,39]	-0,24	-0,15
Periodo lluvioso	1,407	[-2,11; 4,92]	0,77	0,70
Total anual	1,134	[-3,19; 5,46]	0,74	0,70

\*Significativo a  $\alpha < 0,05$

En general, como no está muy claro la definición de las tendencias de las precipitaciones en Maturín se hace difícil estudiar el efecto que puede tener el cambio climático sobre esta variable.

### Tendencias de la temperatura máxima

El análisis de regresión lineal reveló una tendencia de disminución significativa de la temperatura máxima solo para el periodo lluvioso, en un orden aproximado de 0,014 °C por año (Cuadro 2). Considerando las series de los periodos seco y total anual se observó que la tendencia a disminuir no es significativa, ya que el intervalo de confianza al 95 % incluye el valor cero. De acuerdo con lo observado en el Cuadro 2.

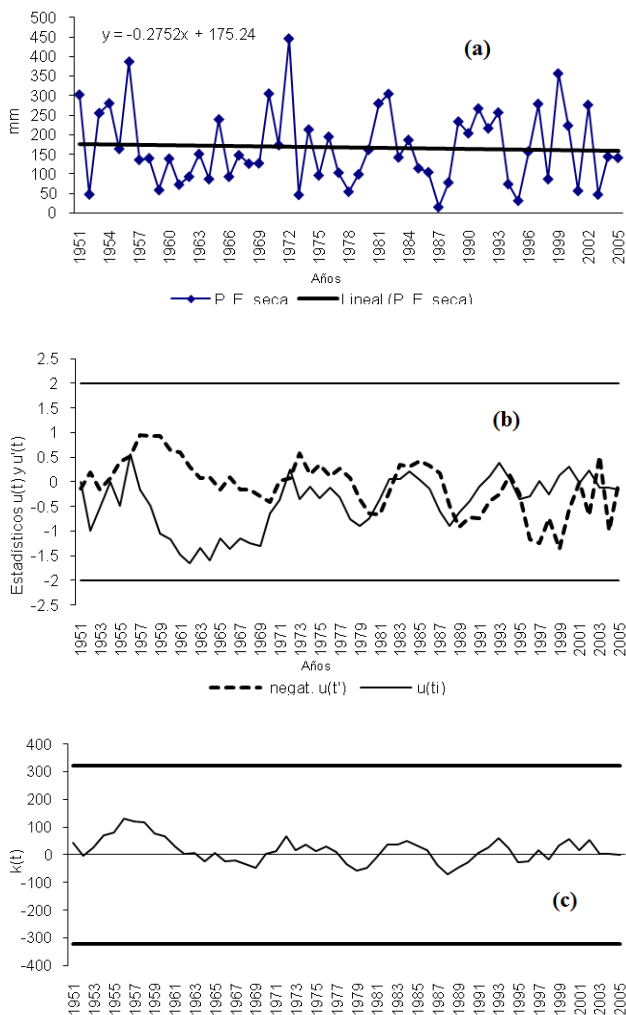


Figura 3. Precipitación de la Época Seca. (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t_i)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%.

Las pruebas de Spearman y de Mann-Kendall confirman que existe una tendencia en las series, sin embargo no son estadísticamente significativas, a excepción del período lluvioso y total anual en la prueba de Mann-Kendall que si resultaron ser significativos. Como los estadígrafos son negativos, la tendencia se considera decreciente.

La prueba de Mann-Kendall, presentó una tendencia decreciente en todos los periodos (Figuras 5b, 6b y 7b). Sin embargo, la tendencia en el periodo seco no fue significativa según el coeficiente de Mann-Kendall (Cuadro 2), aunque la Figura 6b muestra un periodo significativo decreciente muy leve desde el año 1998 hasta el año 2004, y un punto de inicio del cambio en el año 1988. Por otro lado, la prueba de Pettitt para este periodo también señala un pequeño cambio brusco en el año 1987 (Figura 6c).

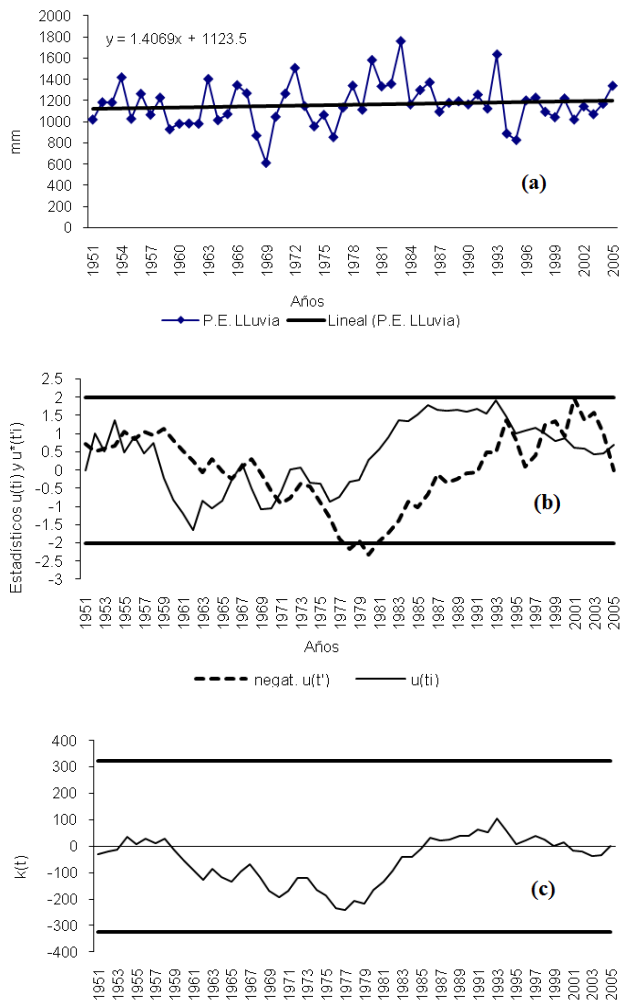


Figura 4. Precipitación de la Época de Lluvia. (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t_i)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%

Para el período total anual la prueba de Mann-Kendall señala el comienzo del cambio decreciente en el año 1983, tornándose esta tendencia significativa en el periodo 1996 - 2005 (Figura 5b), mientras que la prueba de Pettitt señala un cambio brusco significativo en el año 1981 (Figura 5c). En cuanto al período lluvioso la prueba de Pettitt determinó un cambio brusco en el año 1981(Figura 7c), y por la prueba de Mann-Kendall el cambio también comenzó en ese año, tornándose la tendencia decreciente significativa en el periodo 1993-2005, (Figura 7b).

De manera general la tendencia de la temperatura máxima es decreciente, esto coincide con lo señalado por Cáceres *et al.* (1998); en un estudio de las evidencias del cambio climático en Ecuador, donde se estudiaron 14 estaciones meteorológicas, de las cuales 6 se localizaban en la región litoral, con influencia del mar y de la ocurrencia del fenómeno El Niño y la Niña, además se encontraban en áreas urbanas e industrializadas, reportando un valor de cambio negativo o decreciente en la temperatura máxima, que fue atribuido a las condiciones espaciales antes mencionadas.

### Tendencias de la temperatura mínima

El análisis de regresión lineal mostró una tendencia de aumento significativo (al 5 % de probabilidad), para los períodos anual, seco y lluvioso, con un orden aproximado de 0,031 °C; 0,030 °C y 0,031 °C respectivamente (Cuadro 3 y Figuras 8a, 9a y 10a).

Las pruebas de Spearman y de Mann-Kendall afirman la tendencia significativa para todos los periodos bajo estudio; y como los estadígrafos son positivos, indica que la tendencia es creciente.

La prueba de Pettitt, señaló un cambio brusco significativo en el año 1976 para el período total anual (Figura 8c), y por la prueba de Mann-Kendall el

cambio comenzó en el año 1981, tornándose la tendencia creciente significativa en los períodos 1966-1970 y 1980 hasta la actualidad (Figura 8b).

En el caso del período seco, la prueba de Pettitt resultó significativa y arrojó un cambio brusco de temperatura para el año 1979 (Figura 9c) y según la

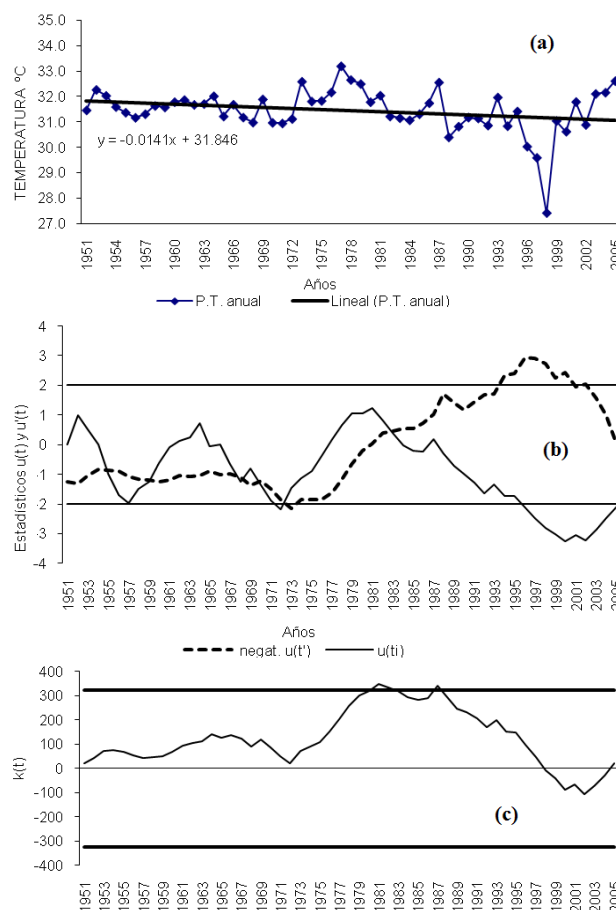


Figura 5. Temperatura Máxima Total Anual (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%.

Cuadro 2. Coeficiente angular de la regresión ( $\alpha$ ) y su intervalo de confianza y estadísticos coeficiente de Spearman ( $\mu(rs)$ ) y coeficiente Mann-Kendall ( $\mu(tn)$ ) para la temperatura máxima total anual, periodo seco y lluvioso de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela

Época	Regresión ( $\alpha$ )	Intervalo de confianza	Coeficiente de Spearman	Coeficiente de Mann-Kendall
Periodo seco	-0,014	[-0,033; 0,004]	-1,25	-1,53
Periodo lluvioso	-0,014*	[-0,028; -0,001]	-1,64	-2,26*
Total anual	-0,014	[-0,029; 0,000]	-1,61	-2,08*

\*Significativo a  $\alpha < 0,05$

prueba de Mann-Kendall el cambio comenzó en el año 1983 y la tendencia es significativa y creciente a partir de 1990 hasta la actualidad (Figura 9b). Por otro lado, el período lluvioso presentó un cambio brusco en el año 1976, según la prueba de Pettitt (Figura 10c), y la prueba de Mann-Kendall mostró que la tendencia creciente es significativa en los periodos 1984-1988 y 1990 al 2005 (Figura 10b) con un comienzo del cambio en el año 1983.

Cáceres *et al.* (1998) también reportan tendencias de incremento en la temperatura mínima en Ecuador. La tendencia observada en la ciudad de Maturín es otra prueba del cambio climático en la zona bajo estudio. Esto demuestra que el Cambio climático local puede deberse al avance de la urbanización y deforestación de los últimos 20 años en la zona.

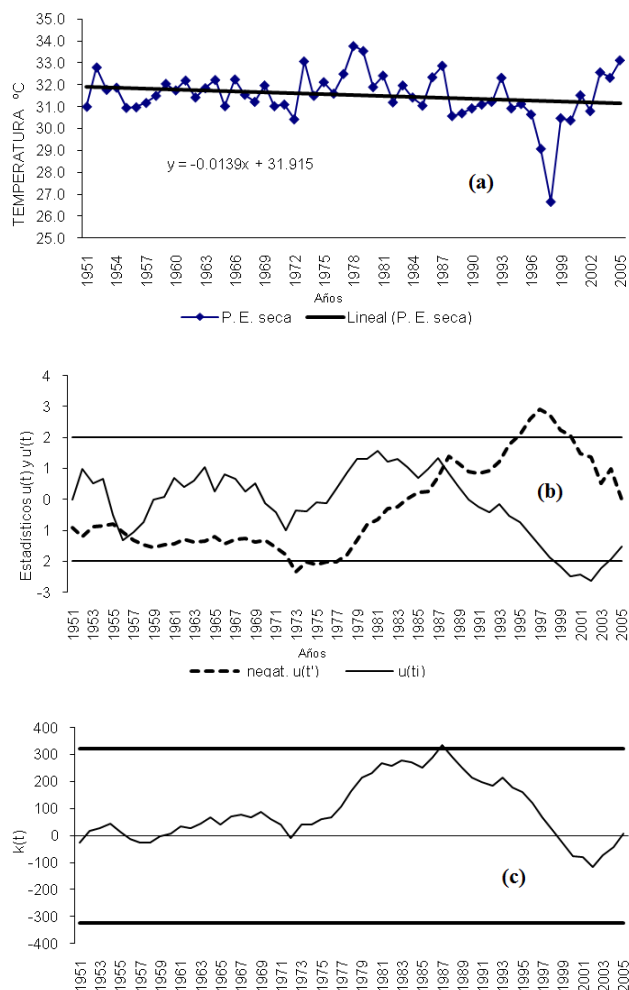


Figura 6. Temperatura Máxima de la Época Seca (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95 %.

El trabajo de Puche *et al.* (2007) concluyen que, a causa del aumento de la temperatura mínima, se estiman reducciones en el rendimiento de los cultivos. Los incrementos en la temperatura mínima parecen ser el factor principal en las reducciones de los rendimientos, obedeciendo al incremento de las pérdidas por respiración debido predominantemente a las temperaturas nocturnas más elevadas.

### CONCLUSIONES

El promedio anual para el periodo 1951 – 2005 de las variables bajo estudio es de aproximadamente: 22,77 °C para la temperatura mínima, 31,45 °C para la temperatura máxima y 1330,49 mm para la precipitación.

La precipitación no presentó tendencia significativa, por lo tanto no muestra señal clara de cambio climático.

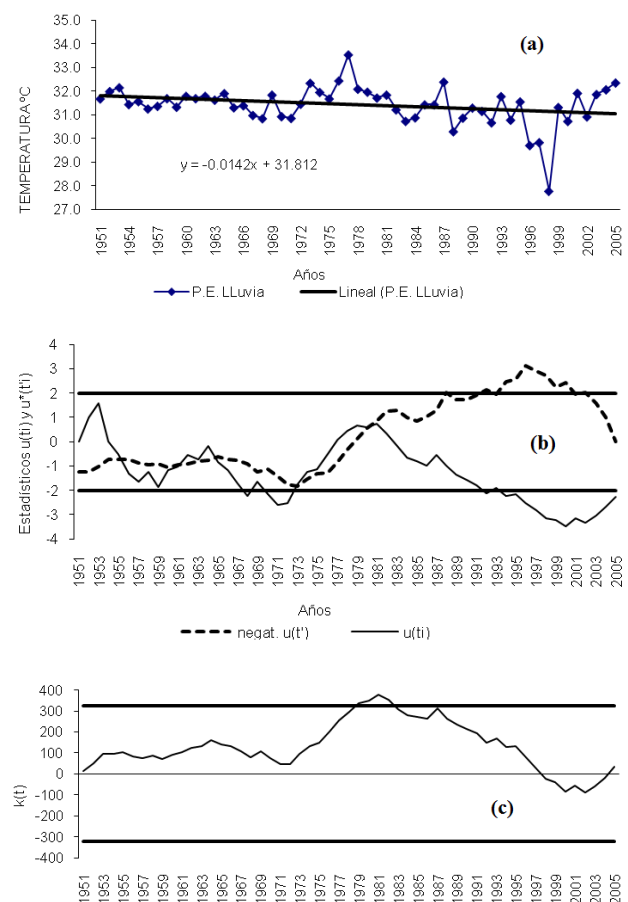


Figura 7. Temperatura Máxima de la Época Lluviosa (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%.



La temperatura máxima presentó una tendencia decreciente significativa.

Se identificó una tendencia creciente estadísticamente significativa para la temperatura mínima en las series de Maturín.

Se localizaron cambios bruscos significativos para todos los periodos (totales anuales, secos y y

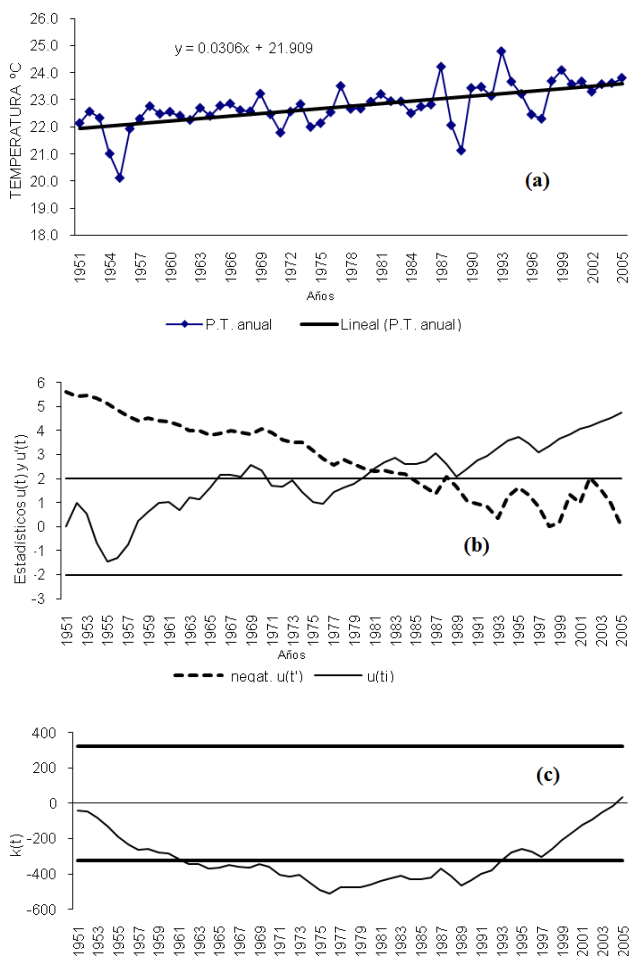


Figura 8. Temperatura Mínima Total Anual (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t_j)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%.

Cuadro 3. Coeficiente angular de la regresión ( $\alpha$ ) y su intervalo de confianza y estadísticos coeficiente de Spearman ( $\mu(rs)$ ) y coeficiente Mann-Kendall ( $\mu(tn)$ ) para la temperatura mínima total anual, periodo seco y lluvioso de la ciudad de Maturín, estado Monagas, Venezuela.

Época	Regresión ( $\alpha$ )	Intervalo de confianza	Coeficiente de Spearman	Coeficiente de Mann-Kendall
Periodo seco	0,030*	[0,018; 0,041]	4,45*	4,25*
Periodo lluvioso	0,031*	[0,019; 0,043]	4,50*	4,16*
Total anual	0,031*	[0,020; 0,042]	4,81*	4,75*

\*Significativo a  $\alpha < 0,05$

lluviosos) en la temperatura mínima, mientras que en la temperatura máxima sólo los periodos anuales y lluviosos presentaron cambios significativos.

La causa de la elevación de los valores de temperatura mínima local se pueden deber tanto al efecto del calentamiento global como a los procesos de urbanización y deforestación que se han presentado en Maturín en los últimos años.

### LITERATURA CITADA

Alexandrov, V. A. and G. Hoogenboom. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology* 104: 315-327.

Back, A. J. 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendencia climática. *Pesq. Agropec. Bras.* 36 (5):717-726.

Cao, M.; K. Gregson and S. Marshall. 1998. Global methane emission from wetlands and its sensitivity to climate change. *Atmospheric Environment*, 32 (19): 3293-3299.

Cáceres, L.; R. Mejía y O. Ontaneda. 1998. Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Bulletin de l'Institut français d'études andines* 27 (3): 547-556.

Carson, D. J. 1996. Modelling climate change: achievements and prospects. *Commonwealth Forestry Review* 75 (1): 12-18.

Gil, J. A.; N. Montaña, L. Khan, A. Gamboa y E. Narvaez. 2000. Efecto de diferentes estrategias de riego en el rendimiento y la calidad de dos cultivares de Melón (*Cucumis melo* L.) *Bioagro* 12 (1): 25-30.

Lavenroth, W. K. 1996. Application of patch models to examine regional sensitivity to climate change. *Climatic Change* 34 (2): 155-160.

Lozada, B. y C. Barboza. 2007. Tendencia de la precipitación pluvial en Bramón, estado Táchira, Venezuela. *Agronomía Tropical* 57 (2): 89-98.

Martelo, M. 2004. Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología – Dirección General de Cuencas Hidrográficas – MARN.

Schwartz, P. and D. Randall. 2003. An abrupt climate change scenario and its implications for United States national security, p. 1-22. <http://fas.org/irp/agency/dod/schwartz.pdf>

Smith. J. B. 1996. Standardized estimates of climate change damages for the United States. *Climatic Change* 32 (3): 313-326.

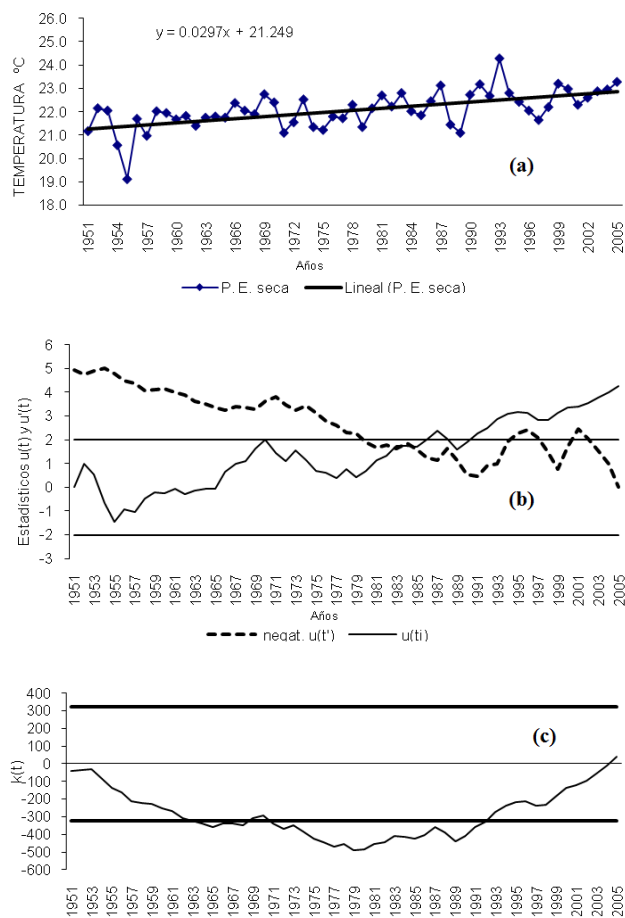


Figura 9. Temperatura Mínima de la Época Seca (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t_i)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%.

Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis de series de observations. Geneva. WMO. 192 p. Technical Note N° 143.

Puche, M.; O. Silva, R. Warnock y V. García. 2007. Evaluación del efecto del cambio climático sobre cultivos anuales en Venezuela. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático en Venezuela. Trabajo presentado en el 1 Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay.

Wolf J. and C. A Van Diepen. 1994. Effects of climate change on silage maize production potential in the European community. *Agricultural and Forest Meteorology* 71 (1–2): 33-60

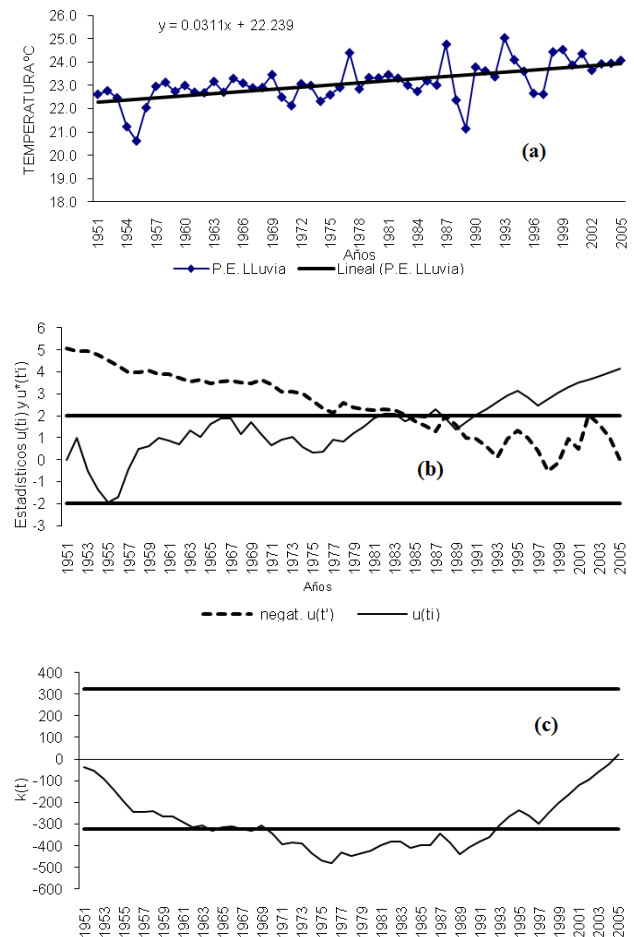


Figura 10. Temperatura Mínima de la Época Lluviosa (a) Regresión lineal, (b) Estadígrafos  $u^*(t_i)$ , de la Prueba de Mann – Kendall, (c) Estadígrafo  $k(t)$  de la prueba de Pettitt. Las líneas horizontales representan el intervalo de confianza del 95%.